



DOI: <https://doi.org/10.17816/PED13119-24>

Научная статья

## РЕМОДЕЛИРОВАНИЕ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ГОЛОВНОГО МОЗГА В ИСХОДЕ КОРТИКАЛЬНОЙ РЕЗЕКЦИИ

© Е.А. Астахова<sup>1</sup>, Е.В. Марченко<sup>1</sup>, А.А. Чухловин<sup>1</sup>, М.В. Александров<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова, Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup> Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия

*Для цитирования:* Астахова Е.А., Марченко Е.В., Чухловин А.А., Александров М.В. Ремоделирование биоэлектрической активности головного мозга в исходе кортикальной резекции // Педиатр. – 2022. – Т. 13. – № 1. – С. 19–24. DOI: <https://doi.org/10.17816/PED13119-24>

**Актуальность.** В суммарной скальповой электроэнцефалограмме отображается активность групп корковых нейронов. Но каждая из этих групп не существует изолированно, а находится под влиянием других участков, как корковых, так и подкорковых систем мозга. В ходе нейрохирургического лечения пациентам производили резекцию участков коры головного мозга, в которой располагался эпилептический очаг. При обследовании пациентов до и после резекции участка коры было замечено, что электроэнцефалографическая картина над участками резекции визуально неотличима от таковых над другими областями головного мозга. У пациентов с резекцией височной доли при структурной фармакорезистентной эпилепсии на скальповой электроэнцефалограмме над удаленными участками не регистрировались паттерны «выпадения активности», свойственных участкам с отсутствием нейронов.

**Цель данной работы** – исследование механизмов, лежащих в основе формирования регистрируемого электроэнцефалографического паттерна над резецированными участками коры, у подвергшихся нейрохирургическому лечению пациентов с височной эпилепсией.

**Материалы и методы.** В исследовании приняли участие 22 пациента со структурной фармакорезистентной эпилепсией, средний возраст 32,2 года. Всем пациентам выполняли двукратное электроэнцефалографическое исследование в состоянии покоя при закрытых глазах и при проведении функциональных проб, рассчитывался показатель когерентности на эпохе записи длительностью 60 с.

**Результаты.** В ходе когерентного анализа выяснилось взаимодействие между височными отведениями и окружающими их областями, усиливающееся после удаления височной доли, вовлеченной в эпилептическую систему.

**Выводы.** Было статистически доказано, что регистрируемая в послеоперационном периоде активность в области проекции на скальп резецированного участка формируется в результате проведения сигнала из других отделов.

**Ключевые слова:** биоэлектрическая активность; электроэнцефалография; когерентность; структурная эпилепсия.

Поступила: 22.12.2021

Одобрена: 12.01.2022

Принята к печати: 25.02.2022

DOI: <https://doi.org/10.17816/PED13119-24>

Research Article

## REMODELING OF THE BIOELECTRIC ACTIVITY OF THE BRAIN IN THE OUTCOME OF CORTICAL RESECTION

© Ekaterina A. Astakhova<sup>1</sup>, Elena V. Marchenko<sup>1</sup>, Alexander A. Chukhlovin<sup>1</sup>, Mikhail V. Alexandrov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Almazov National Medical Research Center, Saint Petersburg, Russia;

<sup>2</sup> S.M. Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia

*For citation:* Astakhova EA, Marchenko EV, Chukhlovin AA, Alexandrov MV. Remodeling of the bioelectric activity of the brain in the outcome of cortical resection. *Pediatrician (St. Petersburg)*. 2022;13(1):19-24. DOI: <https://doi.org/10.17816/PED13119-24>

**Background:** The total scalp electroencephalography shows the activity of groups of cortical neurons. But each of these groups does not exist in isolation, but they are influenced by other areas, both cortical and subcortical systems of the brain. In the course of neurosurgical treatment, patients underwent resection of cortical areas in which the epileptiform focus was located. In patients with resection of the temporal lobe with structural drug-resistant epilepsy, EEG patterns of “loss of activity” are not recorded above the remote areas.

**Aim:** to study the mechanisms underlying the formation of electroencephalography patterns recorded in the projection of the resected temporal lobe of the brain in patients operated on for focal drug-resistant epilepsy.

**Materials and methods:** There were examined 22 patients with structural pharmaco-resistant epilepsy. Coherent analysis of the electroencephalography was performed for an epoch of 30 seconds in transverse and longitudinal intrahemispheric pairs of leads.

**Results:** Correlation interactions between the temporal leads and their surrounding areas are enhanced after removal of the temporal lobe involved in the epileptic system.

**Conclusion:** The activity recorded in the postoperative period in the projection area on the scalp of the resected area is formed as a result of signal transmission from other departments.

**Keywords:** bioelectrical activity; electroencephalography; coherence; structural epilepsy.

Received: 22.12.2021

Revised: 12.01.2022

Accepted: 25.02.2022

## АКТУАЛЬНОСТЬ

Сравнительный анализ результатов предоперационных и послеоперационных электроэнцефалографических исследований, выполненных у пациентов, проходивших нейрохирургическое лечение, включающее удаление различных зон коры головного мозга, не выявляет грубых различий. Так, например, у пациентов в исходе хирургического лечения на скальповой электроэнцефалограмме (ЭЭГ) в зонах, расположенных над резецированными отделами височной коры, отмечается активность, визуально не отличимая от активности, регистрируемой над гомологичными зонами коры [1, 2, 10]. Это наблюдение обосновало проведение исследований, направленных на поиск механизмов генерации биоэлектрической активности (БЭА), регистрируемой над отделами мозга, в которых была выполнена резекция коры.

Одним из методов количественной ЭЭГ, направленным на детальный анализ механизмов генерации БЭА, считается когерентный анализ амплитудно-частотных параметров [3–5]. Когерентный анализ ЭЭГ является производным от спектрального анализа и ориентирован на оценку подобия спектрального состава между двумя выбранными отведениями, что, в свою очередь, отражает единство источников генерации активности [6, 8, 9].

*Цель* — изучить механизмы, лежащие в основе формирования паттернов ЭЭГ, регистрируемых в проекции резецированной височной доли мозга у пациентов, оперированных по поводу фокальной фармакорезистентной эпилепсии.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проведено в ходе обследования и нейрохирургического лечения 22 пациентов (16 мужчин, 6 женщин, средний возраст  $32,2 \pm 8$  лет) с фокальной фармакорезистентной височной эпилепсией в клинике РНХИ им. А.Л. Поленова (филиал НМИЦ им. В.А. Алмазова, Санкт-Петербург) в период с 2015 по 2020 г. Средний стаж заболевания  $21 \pm 8$  лет.

Критерии включения: структурная височная фармакорезистентная эпилепсия, видеорегистрация иктальных событий (видео-ЭЭГ-мониторинг) в предоперационном периоде и не ранее 12 мес. после операции, микрохирургическое удаление эпилептического очага — блок-резекция височной доли с нейрофизиологическим интраоперационным мониторингом.

Нейрофизиологическое обследование включало длительную регистрацию ЭЭГ с одновременным видео-ЭЭГ-мониторингом. Длительность

мониторинговых исследований составляла от 6 до 48 ч. Регистрацию БЭА проводили на аппаратно-программном комплексе «Мицар-ЭЭГ-202-1» (ООО «Мицар», Россия). Электроды ЭЭГ устанавливали в соответствии с системой размещения электродов «10–20». Полоса пропускания: фильтр высоких частот 0,5 Гц, фильтр низких частот 70 Гц. Параметры биоэлектрической активности анализировали методом когерентного анализа [1, 2, 7, 11] на стабильной эпохе БЭА длительностью 60 с. Когерентный анализ производили с помощью программного обеспечения Data Studio (ООО «Мицар»). Анализ включал поперечные и продольные внутриполушарные пары отведений относительно усредненного взвешенного электрода: 1) поперечными парами являлись связи между контралатеральными височными отведениями (Temp-i – Temp-c), контралатеральными височным и лобным (Temp-I – Fr-c), контралатеральными височным и центральными (Temp-I – C), контралатеральными височным и теменным (Temp-i – Par-c), контралатеральными височным и затылочным (Temp-I – Oc-c); 2) короткими продольными парами являлись связи между ипсилатеральными височным и лобным (Temp-i – Fr-i), ипсилатеральными височным и теменным (Temp-i – Par-i), ипсилатеральными височным и теменно-затылочным (Temp-i – Par-Oc-i), ипсилатеральными височным и затылочным (Temp-i – Oc-i). Рассчитывали коэффициент средней когерентности для диапазона частот 1,6–30 Гц. Быстроволновую активность гамма-диапазона из анализа исключали. Когерентный анализ выполняли для параметров ЭЭГ, зарегистрированных при предоперационном обследовании (preOP) и при обследовании в исходе хирургического лечения (postOP).

Статистическую обработку полученных результатов проводили с использованием пакета прикладных программ SPSS Statistics v.17. Данные представлены в виде среднего и ошибки среднего ( $M \pm m$ ). Достоверность различий оценивали с использованием *t*-критерия Стьюдента для парных выборок. Различия считались достоверными при  $p < 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Визуально-логический анализ результатов пред- и постоперационных ЭЭГ-исследований, выполненных у пациентов с резекцией височной доли по поводу структурной фармакорезистентной эпилепсии, не выявил значимых различий в амплитудно-частотных параметрах спонтанной и вызванной активности. Во всех случаях отмечалась заметная редукция эпилептиформной активности как отражение эффективности выполненного нейрохи-

Таблица / Table

Показатели средней когерентности электроэнцефаллографии до и после оперативного вмешательства  
Average EEG coherence before and after surgery

ЭЭГ-отведения / EEG leads		Значение / Value ( $M \pm m$ )	$p$
Temp – Fp-c	preOP	0,356 ± 0,12	0,006
	postOP	0,373 ± 0,07	
Temp – Par-i	preOP	0,459 ± 0,09	0,013
	postOP	0,482 ± 0,13	
Temp – Par-c	preOP	0,211 ± 0,06	0,018
	postOP	0,265 ± 0,12	
Temp – Oc-c	preOP	0,438 ± 0,1	0,04
	postOP	0,461 ± 0,03	

*Примечание.* preOP — предоперационное обследование, postOP — обследование в исходе хирургического лечения;  $p$  — достоверность полученных результатов. *Note.* preOP — preoperative examination; postOP — examination after the surgical treatment;  $p$  — reliability of the results obtained.

рургического лечения фармакорезистентной эпилепсии.

При сравнительной оценке параметров когерентности БЭА наблюдалось увеличение взаимодействия между активностью, регистрируемой в височных отведениях над резецированной височной долей, и смежными зонами конвексальной поверхности: значение когерентности возрастало. Данная тенденция была характерна для всех обследованных пациентов. При статистической обработке результатов когерентного анализа достоверное ( $p < 0,05$ ) увеличение значения когерентности в послеоперационном периоде по сравнению с предоперационным обследованием зарегистрировано в следующих парах отведений: Temp – Fp-c, Temp – Par-i, Temp – Par-c и Temp – Oc-c (см. таблицу). Значение когерентности между внутриполушарными короткими парами ниже, чем между поперечными межполушарными парами.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При проведении предоперационного нейрофизиологического обследования у пациентов с длительно существующей эпилептической системой выявлены относительно низкие внутриполушарные связи по сравнению с уровнем межполушарной когерентности. Полученные результаты могут свидетельствовать о формировании вторичного «зеркального» очага в контралатеральном полушарии. Хирургическое лечение при фокальной фармакорезистентной эпилепсии в обследованной группе включало резекцию височной доли, в которой сформировалась устойчивая эпилептическая система. При выполнении мониторинговых ЭЭГ-исследований через 12 мес. после хирургического вмешательства ни в одном из наблюдений не были зарегистрированы паттерны «выпадения» биоэлектрической активности над резецированной височной долей. Как показали ре-

зультаты когерентного анализа, сила межполушарных связей при удалении височной доли значительно возросла. Таким образом, можно предположить, что основным механизмом ремоделирования паттернов ЭЭГ, регистрируемых после резекции височной доли у пациентов, оперированных по поводу фокальной фармакорезистентной эпилепсии, служит проведение сигнала как из близлежащих отделов конвекса, так и из контралатерального полушария. Данный механизм может отчасти объяснить тот феномен, что после резекции в некоторых случаях над удаленной височной долей продолжает регистрироваться эпилептиформная активность. Такая «квазиактивность» формируется за счет вторичного «зеркального» очага, оставшегося после удаления височной доли, в которой был расположен детерминантный генератор патологической активности. При этом нельзя полностью исключить возможность генерации активности из базальных и глубоких медиальных отделов коры головного мозга, над которыми не могут быть размещены конвексальные электроды для регистрации ЭЭГ.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Вклад авторов.** Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Источник финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

**Информированное согласие на публикацию.** Авторы получили письменное согласие пациентов на публикацию медицинских данных и фотографий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров М.В., Иванов Л.Б., Лытаев С.А., и др. Электроэнцефалография. Руководство / под ред. М.В. Александрова. Санкт-Петербург: СпецЛит, 2020. 224 с.
2. Астахова Е.А., Черенкова С.Э., Марченко Е.В., и др. Взаимоотношение биоэлектрической активности и структурных изменений в гиппокампе при височной фармакорезистентной эпилепсии // *Трансляционная медицина*. 2021. Т. 8, № 2. С. 5–13. DOI: 10.18705/2311-4495-2020-8-2-5-13
3. Будкевич А.В., Иванов Л.Б., Зыков В.П. Динамика спектрального и когерентного анализа ЭЭГ на этапах лечения тиков и синдрома Туретта у детей методом аудиовизуальной стимуляции // *Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Количественная ЭЭГ и нейротерапия»*; 15–16 октября 2007 г.; Санкт-Петербург. Санкт-Петербург: Человек и здоровье, 2007. С. 118–119.
4. Иванов Л.Б. Об информативности применения когерентного анализа в клинической электроэнцефалографии // *Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова*. 2011. Т. 61, № 4. С. 499–512.
5. Иванов Л.Б., Селезнева Ж.В., Ермолаева Т.П., Гегуева Е.Н. Прогностическое значение оценки межполушарных связей при длительных бессознательных состояниях травматического и постгипоксического генеза у детей (по данным когерентного анализа ЭЭГ) // *Функциональная диагностика*. 2009. № 3. С. 29–42.
6. Смоляков Ю.Н. Интегральная оценка когнитивной функции по результатам спектрального анализа ЭЭГ // *Материалы VIII Международной научной конференции «Системный анализ в медицине (SAM 2014)»*; 29–30 мая 2014 г.; Благовещенск. Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания СО РАМН. 2014. С. 102–105.
7. Трифонов М.И., Панасевич Е.А. Методические аспекты кросскорреляционного анализа ЭЭГ // *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова*. 2018. Т. 104, № 7. С. 856–871. DOI: 10.7868/S0869813918070110
8. Busonera G., Cogoni M., Puligheddu M., et al. EEG Spectral Coherence Analysis in Nocturnal Epilepsy // *IEEE Trans Biomed Eng.* 2018. Vol. 65, No. 12. P. 2713–2719. DOI: 10.1109/TBME.2018.2814479
9. Jorge M.S., Spindola L., Katata J.H.B., Anghinah R. Alpha band EEG coherence in healthy nonagenarians // *Arq Neuropsiquiatr.* 2017. Vol. 75, No. 9. P. 609–613. DOI: 10.1590/0004-282X20170102
10. Niedermeyer E., Lopes da Silva F. *Electroencephalography. Basis, principles, clinical applications related fields*. Philadelphia; Baltimore; NY: Lippincott Williams & Wilkins, 2005. 1309 p.
11. Weiss S., Mueller H.M. The contribution of EEG coherence to the investigation of language // *Brain Lang.* 2003. Vol. 85, No. 2. P. 325–343. DOI: 10.1016/s0093-934x(03)00067-1

## REFERENCES

1. Aleksandrov MV, Ivanov LB, Lytaev SA, et al. *Elektroentsefalografiya. Rukovodstvo*. Aleksandrova MV, editor. Saint Petersburg: SpetsLit; 2020. 224 p. (In Russ.)
2. Astahova EA, Cherenkova SJe, Marchenko EV, et al. The relationship of bioelectric activity and structural changes in the hippocampus at pharmacoresistant temporal lobe epilepsy. *Translational Medicine*. 2021;8(2):5–13. (In Russ.) DOI: 10.18705/2311-4495-2020-8-2-5-13
3. Budkevich AV, Ivanov LB, Zykov VP. Dinamika spektral'nogo i kogerentnogo analiza EEG na etapakh lecheniya tikov i sindroma Turetta u detei metodom audiovizual'noi stimulyatsii. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference. "Kolichestvennaya EEG ineyroterapiya"; 2007 Oct 15–16; Saint Petersburg. Saint Petersburg: Chelovek i zdorov'e. 2007. P. 118–119. (In Russ.)
4. Ivanov LB. Ob informativnosti primeneniya kogerentnogo analiza v klinicheskoi elektroentsefalografii. *Zhurnal Vyssei Nervnoi Deyatelnosti Imeni IP Pavlova*. 2011;61(4):499–512. (In Russ.)
5. Ivanov LB, SeleznevaZhV, Ermolaeva TP, Gegueva EN. Prognosis consequence of interhemispheric connection evaluation in children with longtime unconsciousness conditions traumatic and posthypoxic genesis (on data of EEG coherence analysis). *Funktsional'naya diagnostika*. 2009;(3):29–42. (In Russ.)
6. Smolyakov Y.N. Integral estimation of cognitive abilities based on the results of spectral analysis of the EEG. Proceedings of the VIII International Scientific Conference "Sistemnyy analiz v meditsine (SAM 2014)"; 2014 May 29–30; Blagoveshchensk. Dal'nevostochnyi nauchnyi tsentr fiziologii i patologii dykhaniya SO RAMN. 2014. P. 102–105. (In Russ.)
7. Trifonov MI, Panasevich EA. Methodological aspects of cross-correlation analysis of EEG data. *Russian Journal of Physiology*. 2018;104(7):856–871. (In Russ.) DOI: 10.7868/S0869813918070110
8. Busonera G, Cogoni M, Puligheddu M, et al. EEG Spectral Coherence Analysis in Nocturnal Epilepsy. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2018;65(12):2713–2719. DOI: 10.1109/TBME.2018.2814479
9. Jorge MS, Spindola L, Katata JHB, Anghinah R. Alpha band EEG coherence in healthy nonagenarians. *Arq Neuropsiquiatr.* 2017;75(9):609–613. DOI: 10.1590/0004-282X20170102

10. Niedermeyer E, Lopes da Silva F. Electroencephalography. Basis, principles, clinical applications related fields. Philadelphia; Baltimore; NY: Lippincott Williams & Wilkins; 2005. 1309 p.
11. Weiss S, Mueller HM. The contribution of EEG coherence to the investigation of language. *Brain Lang.* 2003;85(2):325–343. DOI: 10.1016/s0093-934x(03)00067-1

## ◆ Информация об авторах

\**Екатерина Андреевна Астахова* – ординатор кафедры внутренних болезней Института медицинского образования. ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: [katastakhva@gmail.com](mailto:katastakhva@gmail.com)

*Елена Владимировна Марченко* – врач функциональной диагностики отделения клинической нейрофизиологии РНХИ им. проф. А.Л. Поленова. ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: [lm\\_sovushka@mail.ru](mailto:lm_sovushka@mail.ru)

*Александр Алексеевич Чухловин* – канд. мед. наук, заведующий лабораторией нейрофизиологического мониторинга РНХИ им. проф. А.Л. Поленова. ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: [dr.chukhlovin@gmail.com](mailto:dr.chukhlovin@gmail.com)

*Михаил Всеволодович Александров* – д-р мед. наук, профессор, заведующий отделением клинической нейрофизиологии РНХИ им. проф. А.Л. Поленова, ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; заведующий кафедрой нормальной физиологии, Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: [mdoktor@yandex.ru](mailto:mdoktor@yandex.ru)

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

## ◆ Information about the authors

\**Ekaterina A. Astakhova* – Resident of the Department of Internal Diseases. Almazov National Medical Research Center, Saint Petersburg, Russia. E-mail: [katastakhva@gmail.com](mailto:katastakhva@gmail.com)

*Elena V. Marchenko* – Functional Diagnostics Doctor, Polenov Neurosurgical Institute. Almazov National Medical Research Centre, Saint Petersburg, Russia. E-mail: [lm\\_sovushka@mail.ru](mailto:lm_sovushka@mail.ru)

*Alexander A. Chukhlovin* – MD, PhD, Head of the Laboratory of Neurophysiological Monitoring, Polenov Neurosurgical Institute. Almazov National Medical Research Centre, Saint Petersburg, Russia. E-mail: [dr.chukhlovin@gmail.com](mailto:dr.chukhlovin@gmail.com)

*Mikhail V. Aleksandrov* – MD, PhD, Dr. Med. Sci., Professor, Head of Clinical Neurophysiology Department, Polenov Neurosurgical Institute, Almazov National Medical Research Centre, Saint Petersburg, Russia; Head of the Department of Normal Physiology, S.M. Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia. E-mail: [mdoktor@yandex.ru](mailto:mdoktor@yandex.ru)